



Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

Nombre de la Tecnología: Precipitador Electrostático Húmedo (PEH) - Tipo Placa-Alambre

Tipo de Tecnología: Dispositivo de Control - Captura/Disposición

Contaminantes Aplicables:

Materia Particulada (PM), que incluye materia particulada menor o igual a 10 micras (μm) de diámetro aerodinámico (PM_{10}), materia particulada menor o igual a 2,5 micras de diámetro aerodinámico ($\text{PM}_{2.5}$), y contaminantes peligrosos del aire (CPA), en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (el mercurio es la excepción notable, ya que una porción importante de las emisiones se hallan en forma de vapor elemental). Los PEH se utilizan frecuentemente para controlar neblinas de ácido y pueden proporcionar un control incidental para los compuestos orgánicos volátiles.

Límites de Emisiones Alcanzables/Reducciones:

Las eficiencias típicas de equipos nuevos varían entre 99 y 99.9%. Los equipos existentes más antiguos tienen un rango de eficiencia de operación de 90 a 99.9%. Aunque son varios los factores que determinan la eficiencia de recolección de los precipitadores electrostáticos (PE), el tamaño es el más importante. El tamaño determina el tiempo de tratamiento; entre más tiempo permanezca una partícula en el PE, es más probable que ésta sea atrapada. Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección del PE (STAPPA/ALAPCO, 1996). La eficiencia de recolección también se ve afectada en cierto grado por la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y por la distribución del tamaño de las partículas. Las eficiencias de recolección acumulativas para PM, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ de los PE operando efectivamente en varios tipos de aplicaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Eficiencias de Recolección Acumulativas de los PEH para PM, PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ (EPA, 1998; EPA, 1997).

Aplicación	Eficiencia de Recolección (%)		
	PM Total (EPA, 1997)	PM_{10} (EPA, 1998)	$\text{PM}_{2.5}$ (EPA, 1998)
Producción Primaria de Cobre			
Horno de chimeneas múltiples	99	99	99.1
Horno de fundición de reverbero	99	97.1	97.4
Producción de Hierro y Acero			
Horno de chimeneas abiertas	99.2	99.2	99.2
Horno de "sinter"	98	94	90

Tipo de Fuente Aplicable: Punto.

Aplicaciones Industriales Típicas:

Los PEH se utilizan en situaciones en las cuales los precipitadores electrostáticos secos (PES) no son apropiados, tal como cuando el material por recolectarse está húmedo, pegajoso, es inflamable, es explosivo o tiene una resistividad alta. Además, a medida que las eficiencias de recolección más altas se han vuelto más deseables, las aplicaciones de los PEH se han incrementado (EPA, 1998). Los PEH son comúnmente utilizados en las industrias de productos de la madera, metalúrgica y de producción de ácido sulfúrico, aunque también se utilizan otros tipos de PE. Las aplicaciones comunes de los PEH tipo placa-alambre se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones Industriales Típicas de los PEH en Húmedo del Tipo Placa-Alambre (EPA, 1998).

Aplicación	Source Category Code - SCC (Código de Categoría de la Fuente)
Manufactura Química	3-01-001...999
Procesamiento de Metales No Ferrosos (Primario y Secundario):	
Cobre	3-03-005 3-04-002
Plomo	3-03-010 3-04-004
Zinc	3-03-030 3-04-008
Aluminio	3-03-000...002 3-04-001
Producción de Otros Metales	3-03-011...014 3-04-005...006 3-04-010...022
Procesamiento de Metales Ferrosos:	
Producción de Hierro y Acero	3-03-008...009
Fundiciones de Acero	3-04-007,-009
Productos Minerales:	
Extracción y Procesamiento de Piedra	3-05-020
Otros	3-05-003...999
Madera, Pulpa y Papel	3-07-001

Características de las Emisiones:

- Flujo de Aire:** Los flujos de aire típicos para los PEH tipo placa-alambre varían de 50 a 250 metros cúbicos estándares por segundo (sm^3/s) (100.000 a 500.000 pies cúbicos estándares por minuto ($scfm$)). La mayoría de los PE con placas más pequeñas ($50 sm^3/s$ a $100 sm^3/s$, o 100.000 a 200.000 $scfm$) usan placas planas en vez de alambres para los electrodos de alto voltaje (AWMA, 1992).
- Temperatura:** Los PEH tipo placa-alambre se limitan a operar a temperaturas bajas de aproximadamente 80 a 90°C (170 a 190°F) (EPA, 1992).

- c. **Cargamento de Contaminante:** Las concentraciones típicas a la entrada de un PEH del tipo placa-alambre son de 2 a 110 grams (g)/sm³ (1 a 50 granos (gr)/scf). Es común darle un pretratamiento a la corriente residual, normalmente por aspercios de agua o torre de lavado para bajar la temperatura y la concentración de la corriente contaminada a un rango más manejable. Los flujos altamente tóxicos con concentraciones menores de 1 g/sm³ (0,5 gr/scf), también son controlados en ocasiones por PE (*Bradburn, 1999; Boyer, 1999; Brown, 1999*).
- d. **Otras Consideraciones:** La resistividad del polvo no es un factor para los PEH, debido a la alta humedad de la atmósfera que reduce la resistividad de la mayoría de los materiales. El tamaño de las partículas es un factor de menor importancia para los PEH que para los PES. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas con los PEH debido a que la resistividad no importa, así como a la reducción en la pérdida por el reencauzamiento de las partículas ya atrapadas. (*Flynn, 1999*).

Requisitos de Pretratamiento de la Emisión:

Cuando la carga de contaminantes es excepcionalmente alta o consiste de partículas relativamente grandes (> 2 µm), se pueden utilizar las torres lavadoras venturi o cámaras de aspersión para reducir la carga sobre el PE. Las partículas aún mayores (> 10 µm), son controladas con colectores mecánicos tales como los ciclones. A veces se utilizan equipos de acondicionamiento de gases, como parte íntegral del diseño original del PEH, para reducir tanto la concentración de entrada como la temperatura del gas (*AWMA, 1992; Flynn, 1999*).

Información de Costos:

A continuación se presentan los rangos de costo (expresados en dólares del 2002) para los PE del tipo placa-alambre de diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, desarrollados utilizando los formatos de la EPA para estimación de costos para los PES del tipo placa-alambre, ajustados para reflejar las características de los PEH del tipo placa-alambre (*EPA, 1996*). Los costos pueden ser sustancialmente más altos que los expuestos en los rangos para los contaminantes que requieran un nivel extremadamente alto de control, o que requieran que los PE sean construidos con materiales especiales tales como el titanio. Los costos de capitales y de operación son generalmente más altos debido a los requerimientos de materiales no corrosivos, al mayor consumo de agua y al costo de tratamiento y disposición del efluente húmedo. En la mayoría de los casos, las unidades más pequeñas que controlen corrientes residuales de baja concentración no serán tan eficientes en costo como lo será una unidad más grande que purifique una emisión con un contenido alto de contaminantes. (*EPA, 1998*).

- a. **Costo de Capital:** \$42,000 a \$85,000 por sm³/s (\$20 a \$40 por scfm)
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$11,000 a \$85,000 por sm³/s (\$5 a \$40 por scfm), anualmente
- c. **Costo Anualizado:** \$19,000 a \$100,000 por sm³/s (\$9 a \$47 por scfm), anualmente
- d. **Eficiencia en el Costo:** \$53 a \$570 por tonelada métrica (\$48 a \$520 por tonelada corta)

Teoría de Operación:

Un precipitador electrostático (PE) es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión gaseosa hacia las superficies de recolección. Una carga eléctrica es impartida a las partículas encauzadas cuando pasan a través de una corona, una región donde fluyen los iones en fase gaseosa. Los electrodos ubicados en el centro del plano del flujo se mantienen a un alto voltaje y generan un campo eléctrico que fuerza a las partículas hacia las

paredes recolectoras. En los PEH, los colectores se bañan intermitentemente o continuamente por una aspersión de líquido, normalmente agua. Las tolvas de recolección que utilizan los PES se reemplazan por un sistema de drenaje. El efluente húmedo se recolecta y frecuentemente se trata *in situ* (EPA, 1998).

En el PE del tipo placa-alambre, el flujo de la emisión gaseosa fluye horizontalmente y paralelo a las placas verticales de láminas de metal. Los espacios entre las placas son típicamente de 19 a 38 cm (9 a 18 pulgadas (in.)) (AWMA, 1992). Los electrodos de alto voltaje son alambres largos con pesas en su extremo inferior, y están colgados entre las placas. Algunos diseños posteriores utilizan electrodos rígidos (tubos huecos de aproximadamente 25 a 40 mm de diámetro) en vez de alambre (Cooper y Alley, 1994). Dentro de cada plano de flujo, el gas debe pasar por cada alambre en secuencia a medida que fluye a través de la unidad. Las zonas de flujo entre las placas son llamadas ductos. Las alturas de los ductos varían típicamente entre los 6 y 14 metros (m) (20 a 25 pies) (EPA, 1998).

Las fuentes de energía para el PE convierten el voltaje industrial de corriente alterna (220 a 480 voltios) a voltaje pulsante de corriente directa en el rango de 20.000 a 100.000 voltios según sea necesario. El voltaje aplicado a los electrodos causa que el gas entre los electrodos se descomponga eléctricamente, un acto conocido como una "corona." Se suele impartir una polaridad negativa a los electrodos porque una corona negativa tolera un voltaje más alto antes de producir chispa que una corona positiva. Los iones generados en la corona siguen las líneas del campo eléctrico desde el electrodo hasta las superficies colectoras. Por lo tanto, cada combinación de tubo y electrodo establece una zona de carga a través de la cual deben pasar las partículas. Puesto que las partículas mayores (>10 μm de diámetro) absorben varias veces más iones que las menores (>1 μm de diámetro), las fuerzas eléctricas son mucho más fuertes en las partículas mayores (EPA, 1996).

Debido al espacio libre necesario para los componentes internos no electrificados en la parte superior del PE, una parte del gas puede desviarse alrededor de las zonas de carga. A este fenómeno se le llama "fuga furtiva" e impone un límite máximo a la eficiencia de recolección. Se colocan barreras anti-fuga para forzar que la corriente de fuga mezcle con la corriente principal del gas para su recolección en secciones posteriores (EPA, 1998).

Los PEH requieren una fuente de agua para enjuague que se inyecta o se rocía por aspersión cerca de la parte superior de las placas colectoras, ya sea continuamente o a intervalos programados. Este sistema de enjuague reemplaza al mecanismo de martilleo normalmente utilizado en los PES. El agua fluye con las partículas recolectadas hasta un depósito desde donde el líquido será bombeado o drenado. Una porción del líquido puede ser reciclada para reducir la demanda total de agua. El restante se bombea hacia una laguna de asentamiento o se pasa a un sistema de remoción del agua, con la disposición posterior del lodo obtenido (AWMA, 1992).

A diferencia de que sucede en los PES, la resistividad del material recolectado por lo general no es un factor importante en el rendimiento del PES. Debido a la alta humedad en un PEH, la resistividad de las partículas se reduce, eliminando la condición de "corona reversa". El enjuague frecuente de las placas también limita la acumulación de partículas en los colectores. (EPA, 1998).

Ventajas:

Los PEH del tipo tubo-alambre y otros PE en general, debido a que actúan únicamente sobre el particulado por eliminar, y sólo impiden el flujo de la corriente de gas de manera mínima, tienen bajas de presión muy pequeñas (típicamente menores de 13 mm (0,5 pulgadas) de columna de agua). Como resultado, los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Los costos de operación son relativamente bajos. Los PE son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1,030 kPa (150 psi)) o condiciones de vacío, y razones de flujo relativamente grandes se pueden manejar de manera efectiva. (AWMA, 1992).

Los PEH pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad. El enjuague continuo o intermitente con un líquido, elimina el reencauzamiento de partículas al flujo de gas, que se ocasiona con el martilleo al cual están sujetos los PES. La atmósfera húmeda que resulta del enjuague de los PEH les permite recolectar partículas con alta resistividad, absorber gases u ocasionar que se condensen los contaminantes; además, ésta enfría y acondiciona la corriente de gas. Las partículas líquidas o aerosoles presentes en la corriente de gas son recolectadas con las partículas y proporcionan otro método para enjuagar los electrodos de colección (EPA, 1998).

Desventajas:

Los PE tienen costos de capital generalmente altos. Los electrodos de descarga fabricados de alambre (aproximadamente 2,5 mm (0,01 in.) de diámetro), requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y la condensación ácida. Además, los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar; la parte media del alambre puede acercarse al tubo, causando más chispas y desgaste. Los diseños de los PE más nuevos tienden a utilizar los electrodos rígidos (Cooper y Alley, 1994; Flynn, 1999).

En general los PE no son muy apropiados para uso en procesos que sean demasiado variables, debido a que son muy sensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas). Los PE también son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que los PE deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas necesarias para la recolección eficiente de PM (Cooper y Alley, 1994). Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización de los gases (AWMA, 1992). Los PEH añaden la complejidad de un sistema de enjuague, y el hecho de que el sedimento fangoso resultante deba ser tratado con más cuidado que un producto seco, y en muchos casos requiera tratamiento, especialmente si el polvo puede ser vendido o reciclado. Los PEH se limitan a operar a temperaturas del caudal por debajo de aproximadamente 80 a 90°C (170 a 190°F), y generalmente deben ser construídos con materiales anticorrosivos (EPA, 1998; Flynn, 1999).

Otras Consideraciones:

Para los PE, se debe tomar en cuenta el manejo de las aguas residuales. Para los sistemas simples con polvos inocuos, el agua que contiene las partículas recolectadas en el PEH, se puede descargar del sistema del PEH hacia un clarificador que remueva los sólidos (ya sea exclusivo del PEH o parte del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta), y posteriormente a su disposición final. Los sistemas más complicados podrían requerir eliminadores de espuma y remoción de lodos, clarificación en equipo específicos, ajuste del pH y/o tratamiento para remover los sólidos disueltos. El agua de los aspersores del equipo de preacondicionamiento del PEH puede ser tratada por separado del agua que se utiliza para limpiar las placas de colección en el PEH, de manera que la más limpia de esas dos corrientes de agua tratada pueda ser devuelta al PEH. La recirculación de agua tratada hacia el PEH podría llegar a casi el 100 por ciento (AWMA, 1992).

Referencias:

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual, Van Nostrand Reinhold, New York.*

Boyer, 1999. *James Boyer, Beaumont Environmental Systems, (724) 941-1743, personal communication with Eric Albright, January 18, 1999.*

Bradburn, 1999. *Keith Bradburn, ABB Environmental Systems, (800) 346-8944, personal communication with Eric Albright, January 18, 1999.*

Brown, 1999. Bob Brown, Environmental Elements Corp., (410) 368-6894, personal communication with Eric Albright, January 18, 1999.

Cooper & Alley, 1994. C. D. Cooper and F. C. Alley, *Air Pollution Control: A Design Approach*, Second Edition, Waveland Press, Inc. IL.

EPA, 1996. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. February.

EPA, 1997. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, Fifth Edition, Research Triangle Park, NC., October.

EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.

Flynn, 1999. Brian Flynn, Beltran Associates, Inc., (718) 338-3311, personal communication with Eric Albright, February 5, 1999.

ICAC, 1999. Institute of Clean Air Companies internet web page www.icac.com, Control Technology Information - Electrostatic Precipitator, page last updated January 11, 1999.

STAPPA/ALAPCO, 1996. State and Territorial Air Pollution Program Administrators and Association of Local Air Pollution Control Officials, "Controlling Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options," July.